

МЕТОД КОРЕКЦІЇ ПОДВІЙНИХ ПОМИЛОК В КАНАЛАХ ПЕРЕДАЧІ ЦИФРОВИХ ДАНИХ ЗІ СПЕКТРАЛЬНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

Виноградов Ю.М., Руденко Т.А.

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

E-mail: eternalcephalalgia@gmail.com

Method of correction of double errors in digital data transmission channels with spectral modulation

The paper presents a theoretically grounded and investigated approach of double errors correction in channels with spectral modulation based on positional correcting sums that allows to determine the positions of distorted symbols and their distortion vectors without enumeration through all the symbols of block. The method mathematical basis and procedure of errors detecting and correcting are presented.

Чільне місце в сучасних технологій передачі даних в комп'ютерних мережах та розподілених системах займають канали передачі зі спектральною модуляцією [1].

Продуктивність розподіленої обробки даних значною мірою визначається швидкістю обміну даними між компонентами комп'ютерних систем. Тому, в найближчій перспективі, швидкість передачі даних буде зростати [2].

Таким чином, наукова задача прискорення підвищення ефективності корекції помилок даних в каналах передачі даних зі спектральною модуляцією з огляду на сучасний стан розвитку технологій комп'ютерної обробки інформації є актуальною.

Ціллю дослідження є розробка методу прискореної корекції помилок в каналах зі спектральною модуляцією.

В роботі [3] була започаткована ідея використання для корекції багатократних помилок позиційних коригуючих кодів. Ідея може бути конкретизована для каналів передачі даних зі спектральною модуляцією.

Метод передбачає передачу разом з інформаційним блоком контрольного блоку, який складається з $2 \cdot k + 1$ компонентів: $C = \{C_0, C_1, C_2, \dots, C_k, S_1, S_2, \dots, S_k\}$.

Кожна l -та компонента контрольного коду C_l , $l = 1, \dots, k$ обчислюється як сума по модулю 2 лише тих символів блоку даних B , l -тий розряд номери яких дорівнює одиниці.

Компоненти контрольного коду S_1, S_2, \dots, S_k формуються з використанням лінійної згортки.

Лінійна згортка $\lambda(Y)$ m -розрядного коду $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, де $\forall j \in \{1, 2, \dots, m\}$: $y_j \in \{0, 1\}$ являє собою h -розрядний ($h = \lfloor \log_2 m \rfloor$) код $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_h\}$, причому, l -тий розряд z_l , $l \in \{2, 3, \dots, h\}$ коду лінійної згортки формується згідно наступної формули:

$$z_i = \bigoplus_{j=1}^m y_j \cdot ((j \bmod 2^{l-1}) / 2^{l-2}) \quad (1)$$

Головна властивість коду лінійної згортки $\lambda(Y)$ полягає в тому, щоб при будь-якій зміні коду Y зазнала змін його лінійна згортка.

Кожну l -ту компоненту S_l контрольного коду, $l=1, \dots, k$, пропонується обчислювати як суму за модулем 2 поліноміальних добутків лінійних згорток символів блоку даних B , l -тий розряд порядкових номерів в блоці яких дорівнює одиниці, на їх номери.

Позначимо компоненти контрольного коду, обчислені на стороні передавача як $C_{S,0}, C_{S,1}, C_{S,2}, \dots, C_{S,k}, S_{S,0}, S_{S,1}, S_{S,2}, \dots, S_{S,k}$, а компоненти контрольного коду, обчислені приймачем за прийнятим блоком, як $C_{R,0}, C_{R,1}, C_{R,2}, \dots, C_{R,k}, S_{R,0}, S_{R,1}, S_{R,2}, \dots, S_{R,k}$. На стороні приймача обчислюються різниці контрольних кодів:

$$\begin{aligned} \Delta_0 &= C_{S,0} \oplus C_{R,0} \\ \forall j=1, \dots, k : \Delta_j &= C_{S,j} \oplus C_{R,j} \\ \delta_j &= S_{S,j} \oplus S_{R,j} \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидно, що в разі, коли жоден з символів блоку не зазнав спотворення при передачі, всі різниці дорівнюють нулю: $\forall j=0, \dots, k: \Delta_j=0$.

В разі спотворення лише одного q -го символу блоку, $q \in \{1, 2, \dots, n\}$, вектор спотворення $\Delta X_q = X_{R,q} \oplus X_{S,q} \neq 0$. Коди різниць в разі спотворення одного символу визначаються наступним чином: $\Delta_0 = \Delta X_q, \forall j \in \{1, 2, \dots, k\}: \Delta_j = 0$, якщо $q_j = 0$ і $\Delta_j = \Delta X_q$, якщо $q_j = 1$. Таким чином, за кодами перших $k+1$ різниць $\Delta_0, \Delta_1, \dots, \Delta_k$ однозначно визначаються код вектору спотворення символу: $\Delta X_q = \Delta_0$ та розряди q_1, q_2, \dots, q_k номеру q спотвореного при передачі символу: $\forall j \in \{1, 2, \dots, k\}: q_j = 0$ якщо $\Delta_j=0, q_j = 1$, якщо $\Delta_j \neq 0$. Відповідно, виправлення спотвореного символу виконується у вигляді: $X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q$.

В разі спотворення при передачі пари символів, що мають в блоці порядкові номери q та p , причому $p < q$, постає задача визначення як самих позицій q і p , так і векторів спотворень обох символів ΔX_q та ΔX_p .

Якщо вектори спотворень обох пошкоджених при передачі символів відрізняються, тобто $\Delta X_q \neq \Delta X_p$, код різниці нульових компонентів контрольного коду в цій ситуації дорівнює: $\Delta_0 = \Delta X_p \oplus \Delta X_q \neq 0$. Процедура відновлення номерів q та p пошкоджених символів представлена у вигляді наступної послідовності дій:

- 1) Встановити індекс j поточного розряду номеру в $k: j = k$, прапорець f виявлення першого розряду, в якому різняться коди q та p встановлюється в нуль: $f=0$.
- 2) Якщо $\Delta_j = 0$, то $p_j = 0, q_j = 0$. Перехід на п.6.
- 3) Якщо $\Delta_j = \Delta_0$, то $p_j = 1, q_j = 1$. Перехід на п.6.
- 4) Якщо $\Delta_j \neq \Delta_0, \Delta_j \neq 0$ і $f = 0$, то $q_j = 1, p_j = 0, \Delta X_q = \Delta_j$ і $f=1$. Перехід на п.6.
- 5) Якщо $\Delta_j \neq \Delta_0, \Delta_j \neq 0$ і $f = 1$, то, якщо $\Delta_j = \Delta X_q, q_j = 1, p_j = 0$, інакше $p_j = 1, q_j = 0$.
- 6) Декремент індексу $j = j - 1$. Якщо $j > 0$, то повернення на виконання п.2.

7) Визначення вектору $\Delta X_p = \Delta_0 \oplus \Delta X_q$. Корекція пошкоджених символів:
 $X_p = X_{R,p} \oplus \Delta X_p$; $X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q$. Кінець.

Конструктивність розробленої процедури визначається тим, що в силу того, що номери q та p обов'язково розрізняються, причому $q > p$, то в старшому розряді, в якому ці коди відмінні відповідний розряд q дорівнює нулю, а однойменний розряд p дорівнює одиниці. Це значить, що обов'язково виконується п.4 наведеної вище процедури, який визначає вектор спотворення q -го символу - ΔX_q .

Якщо вектори спотворень обох пошкоджених символів однакові, тобто $\Delta X_p = \Delta X_q$, то $\Delta_0 = 0$ і для корекції використовуються різниці $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k$ компонентів S_1, S_2, \dots, S_k . Тоді процедура корекції пари символів з порядковими номерами p та q полягає в виконанні наступної послідовності дій:

1) Встановити індекс j поточного розряду номеру в k : $j = k$, прапорець f виявлення першого розряду, в якому різняться коди q та p встановлюється в нуль: $f = 0$.

2) Якщо $\delta_j = 0$, то $p_j = 0$, $q_j = 0$. Перехід на п.6.

3) Якщо $\delta_j \neq 0$, а $\Delta_j = 0$, то $p_j = 1$, $q_j = 1$. Перехід на п.6.

4) Якщо $\delta_j \neq 0$, $\Delta_j \neq 0$ і $f = 0$, то $q_j = 1$, $p_j = 0$, $\Delta X_q = \Delta_j$, $d = \delta_j$, установка прапорця $f = 1$ Перехід на п.6.

5) Якщо $\delta_j \neq 0$, $\Delta_j \neq 0$ і $f = 1$, то, якщо $\delta_j = d$, $q_j = 1$, $p_j = 0$, інакше $p_j = 1$, $q_j = 0$.

6) Декремент індексу $j = j - 1$. Якщо $j > 0$, то перехід на п.2.

7) Визначення вектору $\Delta X_p = \Delta X_q$. Корекція пошкоджених символів:
 $X_p = X_{R,p} \oplus \Delta X_p$; $X_q = X_{R,q} \oplus \Delta X_q$. Кінець.

Запропонований метод корекції двократних помилок передачі даних в каналах зі спектральною модуляцією дозволяє виправляти до 2-х помилок, що відповідає сучасним вимогам [2].

Обчислювальна складність корекції становить $O(\log_2 n)$, тоді як складність процедури корекції для кодів Ріда-Соломона становить $O(n \cdot \log_2 n \cdot 4)$.

В результаті проведених досліджень запропоновано метод прискореної корекції помилок в каналах зі спектральною модуляцією, кратність не більше 2.

За рахунок використання більшої кількості контрольних розрядів, в 4- n разів зменшено обчислювальну складність корекції в порівнянні з кодами Ріда-Соломона, що дозволяє на порядки прискорити процес корекції та спростити апаратну реалізацію.

Література

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. / Б. Скляр - М.: Издательский дом "Вильямс".- 2004.- 1104 с.
2. Ирвин Дж. Передача данных в сетях: инженерный подход. / Дж. Ирвин., Д. Харль. - СПб.: БХВ-Петербург, 2002.- 448 с.
3. Марковський О.П. Метод виправлення трьохкратних помилок передачі даних в двійкових симетричних каналах / О.П. Марковський, С.Ю. Терещенко, О.І. Федоречко О.І. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ" Інформатика, управління та обчислювальна техніка, – Київ: ВЕК+ – 2014. – № 60. - С.33-40.